Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 14
No. 4 (56)

Received:
2024-03-30

Accepted:
2024-09-27

Pages: 17-29

Methods of Generating ANFIS Rules in Dam Reservoir Operation: a Comparative Study of Three Algorithms Using Fuzzy Performance Criteria

Seyed Ebrahim Rezai[1], Ahmad Sharafati[2*], Seyed Ahmad Edalatpanah[3] and Saeed Jamali[4]

1) PhD student, Department of Construction and Water Management, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.
2) Associate Professor, Department of Construction and Water Management, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.
3) Assistant Professor, Department of Mathematics, Future Higher Education Institute, Tonkaban, Iran.
4) Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Tehran Branch, Tehran, Iran.
*Corresponding author emails: asharafati@srbiau.ac.ir

Abstract:
Background and Aim: The performance of water resources systems is very sensitive to uncertainty in model inputs. In this paper, adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), which is an improvement of fuzzy theories, is used to solve the optimization problem of reservoir operation. The main idea in this article is to consider hydrological uncertainties in ANFIS models based on Grid partitioning, Subtractive clustering and Fuzzy C-Means in dam reservoir operation and compare them using classical and fuzzy performance criteria.
Method: It is a case study about the problem of simple operation of Dez dam reservoir in single-reservoir state.
First, the problem of optimizing the use of Dez dam reservoir with the aim of minimizing the lack of needs has been solved by using modeling training data. To solve the optimization problem, the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm with a new mechanism called Stochastic Adaptive Refinement (SAR) has been used.
Then, its results have been used to infer the behavior of the system in Anfis and compare three methods of division. In order to compare the methods, in addition to the error criteria, the reservoir performance criteria have been fuzzified and compared with the classical performance criterias. Finally, Mamdani, Sogeno and ANFIS fuzzy inference methods have been compared by using FCM.
Results: Fuzzy performance criteria indicate that FCM and subtractive clustering have improved fuzzy performance criteria compared to the optimal method in test data, and FCM has improved the objective function of the training and test data by 14% and 16%, respectively. The Grid partitioning method has not achieved good results. Sugeno's fuzzy inference has a better performance than Mamdani's in inferencing system behavior, and Anfis has also improved the objective function compared to Sugeno's
Conclusion: Fuzzification of performance criteria provides more realistic criteria to professionals. FCM and then subtractive clustering are efficient methods in partitioning and generating fuzzy rules in inferencing system behavior. Therefore, ANFIS based on FCM can be used as an efficient method for dam reservoir operation.
Keywords: Optimal reservoir operation, Grid partitioning, Subtractive clustering and Fuzzy C-Means

مقاله پژوهشی

روش‌های ایجاد قوانین ANFIS در بهره‌برداری مخزن سد: مطالعه مقایسه‌ای سه الگوریتم با بهره‌گیری از معیارهای عملکرد فازی

سید ابراهیم رضایی[۱]، احمد شرافتی*[۲]، سید احمد عدالت پناه[۳]، سعید جمالی[۴]

۱) دانشجوی دکتری، گروه مدیریت ساخت و آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم وتحقیقات، تهران، ایران.
۲) دانشیار، گروه مدیریت ساخت وآب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم وتحقیقات، تهران، ایران.
۳) استادیار، گروه ریاضی، موسسه آموزش عالی آیندگان، تنکابن ایران.
۴) استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تهران، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: a. asharafati@srbiau.ac.ir

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال چهاردهم
شماره ٤ (٥٦)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۱/۱۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۷/۰۶

صفحات: ۱۵-۲۹

چکیده:

زمینه و هدف: عملکرد سیستم‌های منابع آب نسبت به عدم قطعیت در ورودی مدل‌ها بسیار حساس است. در این مقاله از استنتاج فازی – عصبی تطبیقی (ANFIS) که تعمیمی از نظریه‌های فازی می‌باشد، برای حل مسئله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن استفاده شده است. هدف اصلی در این مقاله نظرگیری عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی با ارائه مدل‌های ANFIS مبتنی بر تقسیم‌بندی شبکه، خوشه‌بندی تفریقی و فازی C-Meansدر بهره‌برداری مخزن سد و مقایسه آن‌ها با بهره‌گیری از معیارهای عملکرد کلاسیک و فازی می‌باشد.

روش پژوهش: مطالعه موردی در مساله بهره‌برداری ساده در حالت تک مخزنه بر روی سد دز انجام شده است. ابتدا مساله بهینه‌سازی بهره‌برداری ازمخزن سد دز با هدف حداقل‌سازی کمبود از نیازها با استفاده از داده‌های آموزش مدل‌سازی و حل شده است. جهت حل مساله بهینه‌سازی از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان با مکانیسم جدیدی به نام تظریف تطبیقی تصادفی استفاده شده است. سپس از نتایج آن جهت استنتاج رفتار سیستم در انفیس ومقایسه سه روش تقسیم‌بندی بهره‌گیری شده است. به منظور مقایسه روش‌ها علاوه بر معیارهای خطا، شاخص‌های عملکرد مخزن فازی‌سازی شده وبا شاخص‌های عملکرد کلاسیک مقایسه شده است. در نهایت با بکارگیری FCM روش‌های استنتاج فازی ممدانی، سوگنو و ANFIS با یکدیگر مقایسه شده است.

یافته‌ها:معیارهای عملکرد فازی نشان‌دهنده آن است که FCM وخوشه‌بندی تفریقی معیارهای عملکرد فازی را نسبت به روش بهینه در داده‌های تست بهبود بخشیده‌اند و FCM تابع هدف را داده‌های آموزش و تست نسبت به خوشه‌بندی تفریقی به ترتیب اندازه ۱۴ درصد و۱۶درصد بهبود داده است. روش پارتیشن‌بندی شبکه‌ای به نتایج مناسبی دست نیافته است. استنتاج فازی سوگنو بهتر از ممدانی در استنتاج رفتار سیستم عمل می‌کند و انفیس نیز تابع هدف را نسبت به سوگنو را بهبود بخشیده است.

نتایج: فازی سازی شاخص‌های عملکرد، معیارهای واقعی تری را در اختیار متخصصان قرار می‌دهد. روش تقسیم‌بندی FCM و سپس خوشه‌بندی تفریقی روش‌هایی کارآمد در تقسیم‌بندی و تولید قوانین فازی در استنتاج رفتار سیستم می‌باشد. از این رو، می‌توان از ANFIS بر مبنای FCM به عنوان روشی کارآمد جهت بهره‌برداری از مخازن سدها بهره برد.

کلید واژه‌ها: بهره‌برداری بهینه از مخازن، پارتیشن بندی شبکه‌ای، خوشه‌بندی تفریقی، فازیC-Means

مقدمه

امروزه در نظر گیری عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی در بهره برداری از مخازن سدها به ویژه در مناطقی که با کمبود آب روبرو هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. عدم قطعیت در متغیرهای هیدرولوژیکی ممکن است به طور چشمگیری ارزیابی ما از عملکرد یک سیستم منابع آب را تغییر دهد(Tomas & Milos, 2021). روش‌های مختلفی برای لحاظ نمودن عدم قطعیت در مدلها وجود دارد. بعضی از روش‌ها مبتنی بر ورود عدم قطعیت در ساختار مدل و توسعه یک مدل احتمالاتی است (مانند SLPیاSDP،)و برخی دیگر بر اساس استفاده از مدل قطعی و اجرای متعدد آن بر اساس سناریوهای محتمل، ارزیابی خروجیها و محاسبه توزیع‌های احتمالاتی خروجیهای مدل میباشد(Loucks et al., 1981).

در سالهای اخیر، منطق فازی به عنوان یک تکنیک قدرتمند در تجزیه و تحلیل تصمیم گیری در منابع آب ظهور کرده است. مجموعه‌های فازی توسط لطفی عسگرزاده در سال ۱۹۶۵ با چاپ مقاله‌ای معرفی شد(Goguen, 1973). یک مزیت بهره برداری مخزن مبتنی بر قاعده فازی این است که با عبارات زبانی مانند «جریان ورودی کم»، «بارندگی ضعیف»، «جریان خروجی متوسط» و غیره می‌توانند به راحتی ترکیب شوند. در نتیجه، اپراتورها ممکن است در استفاده از چنین مدل هایی احساس راحتی بیشتری داشته باشند (Anto Soentoro & Pebriana, 2019). مرور پیشینه مطالعات در زمینه بهره برداری بهینه از مخازن سدها نشان میدهد، علی رغم بسط قابلیت‌های مدل‌های ریاضی بهره برداری بهینه از مخازن سدها، مدل‌های محدودی برمبنای منطق فازی در زمینه بهره برداری از مخازن پیشنهاد شده است.

جانگ[1](Jang, 1993) سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS)را اولین بار در سال ۱۹۹۳ معرفی کرد. سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی به منظور پیش بینی و استخراج قواعد بهینه حاکم بر یک فرآیند با استفاده از منطق فازی-عصبی می‌باشد. از مزایای این روش می‌توان به کاربری آسان، سرعت بالادر گسترش مدل و زمان محاسبات، و افزایش دقت در تخمین و پیش بینی پدیده ها، اشاره نمود. انفیس پرکاربردترین مدل استنتاج فازی در مطالعات مختلف مدیریت منابع آب است(Deka & Chandramouli, 2009) .اساسی ترین و مهمترین مزیت در مدل‌های انفیس قوانینی هستند که با استفاده از ANN بهینه سازی می‌شود تا به عنوان پرکاربردترین مدل در مطالعات مختلف مدیریت منابع آب استفاده شود. بای[2] و همکاران (Bae et al., 2007) از مدل انفیس برای پیش بینی ورودی بهینه سد استفاده کرد. داده‌های مشاهده شده گذشته و اطلاعات پیش بینی آب و هوا برای توسعه مدل استفاده شد. شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و مدل‌های انفیس برای تخمین پیش بینی جریان رودخانه توسط پرامانیک و پاندا[3] (Pramanik & Panda, 2009) ساخته شده اند. نتایج انفیس به خروجی مشاهده شده نزدیکتر بود و از این رو عملکرد بهتری نسبت به مدل ANN داشت. شرافتی و همکاران(Mohammed et al., 2020) انفیس را با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)، بهینه سازی جامعه مورچگان (ACO)، تکامل دیفرانسیل (الگوریتم) و الگوریتم ژنتیک (GA) به عنوان رویکردهای کارآمد برای پیش بینی رسوب پایه کم عمق بر روی خاک چسبنده اعمال کردند. محمدحسن طرازکار و همکاران(Tarazkar et al., 2018) با استفاده از انفیس قوانین بهره برداری مخزن درودزن را تعیین نمودند. آنها نشان دادند که استخراج منحنی فرمان با استفاده از انفیس نسبت به سایر روش‌های بهره برداری رگرسیونی برتری دارد. صفری وهمکاران(Safavi et al., 2013) قوانین بهره‌برداری از مخزن زاینده رود از طریق دیدگاه ترکیبی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از سیستم استنتاج فازی و سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی توسعه دادند. نتایج نشان داد که مدل انفیس متشکل از داده‌های بهینه از پایداری بالاتری در مقایسه با سایر مدل‌ها برخوردار است.

در سیستم استنتاج فازی قواعد حاکم بر یک فرآیند با روش‌های مختلفی مانند پارتیشن بندی شبکه ای، خوشه بندی تفریقی، فازیC-Means ویا با استفاده از نظرات نخبه تولید میگردند. اما بهینه سازی قواعد بهینه حاکم بر سیستم‌های فازی یکی از چالش‌های مهم در استنتاج فازی می‌باشد که میتواند به طور موثری بر بهبود نتایج منجرگردد. لذا یکی از موضوعات مهم پژوهشی دررشته‌های مختلف علمی در طی سالهای اخیر انتخاب و بهبود روش تقسیم بندی فازی می‌باشد. (Fattahi, 2016; Haryati et al., 2021; Palconit et al., 2021) یوم[4] و همکاران(Yeom & Kwak, 2018) علاوه بر روش‌های سه گانه تقسیم بندی فوق یک روش تقسیم بندی جدید به نام روش خوشه‌بندی C-means فازی مبتنی بر زمینه-context based fuzzy C-means (CFCM)پیشنهاد نمودند که در آن، توابع عضویت متقارن گاوسی توسط خوشه‌های تولید شده از هر زمینه در طراحیANFIS به دست می‌آید. نتایج نشان داد با استفاده از روش تقسیم‌بندی فضای ورودی پیشنهادی، عملکرد پیش‌بینی بهتری نسبت به مدل‌های سه گانه مرسوم نشان می‌دهد.

علی رغم اینکه گزارشات زیادی از عملکرد انفیس در حوزه‌های مختلف مهندسی ومدیریت منابع آب گزارش شده است، تا به حال پژوهشی از بررسی مقایسه‌ای سه روش پارتیشن بندی شبکه ای، خوشه بندی تفریقی، فازیC-Means برای

تولید توابع عضویت و قوانین انفیس در بهره برداری از مخزن سدها با داده‌های ورودی ورودی به مخزن، نیاز پایین دست و ذخیره مخزن و داده‌های خروجی خروجی از مخزن گزارش نشده است. لذا موضوع اصلی این تحقیق، بررسی مقایسه‌ای سه روش پارتیشن بندی شبکه ای، خوشه بندی تفریقی، فازیC-Means برای تولید توابع عضویت و قوانین انفیس در بهره برداری از مخزن سد دز با بهره‌گیری از شاخص‌های عملکرد فازی می‌باشد. فازی سازی شاخص‌های عملکرد مخزن موجب شده است بررسی و مقایسه روش‌های فوق با معیارهای درست تر ومنطقی تری انجام پذیرد.

در این مقاله ابتدا داده‌های سی ساله ورودی به مخزن سد دز به دو دسته داده ۱۵ ساله آموزش و تست تقسیم بندی شده است. سپس با استفاده از الگوریتم Ant Colony Optimization (ACO) که در آن از مکانیسم جدیدی به نام تظریف تطبیقی تصادفی (Stochastic Adaptive Refinement) استفاده شده است (محمدهادی et al., n.d.). در این روش مسأله بهینه سازی پیوسته با مجموعه‌ای از بهینه سازی‌های گسسته جایگزین می‌شود که در آن گسسته سازی حوزه متغیرهای تصمیم ابتدا به شکل یکنواخت وسپس در تکرارهای بعدی با استفاده از یک توزیع گوسی صورت می‌گیرد. مقادیر میانگین و انحراف معیار توزیع گوسی در هر تکرار با استفاده از مقادیر جواب بهینه در تکرار قبل محاسبه می‌شود. در این فرآیند فضاهای مجاور میانگین که احتمال قرار گرفتن جواب بهینه در آن بیشتر است، اهمیت بیشتری دارند و فضاهایی که دورتر از میانگین قرار دارند، سهم کمتری در تعریف فضای جستجوی گسسته ایفا میکنند. به این ترتیب در گسست هسازی جدید فضای جستجو، فاصله نقاط گسسته سازی (گزینه‌های تصمیم) در اطراف جواب بهینه یافته شده در جستجوی قبلی کمتر و در فاصله‌های دورتر از آن بیشتر خواهد بود.

مساله بهینه سازی مربوطه با هدف حداقل سازی کمبود از نیازهای پایین دست حل شده است. نتایج نشان‌دهنده کارایی و اثربخشی روش SAR برای بهبود عملکرد الگوریتم‌های مورچه در حل مسائل بهینه‌سازی است. با استفاده ازداده‌های مساله که شامل ورودی به مخزن، نیاز، می‌باشد و نتایج بهینه سازی که شامل ذخیره مخزن وخروجی از مخزن در ماه‌های مختلف می‌باشد، به صورت جداگانه با نتایج هر کدام از سه روش پارتیشن بندی شبکه ای، خوشه بندی تفریقی، فازیC-Means مدلسازی در محیط انفیس انجام می‌گیرد. سپس جهت بررسی کارآیی روش‌های سه گانه فوق، نتایج انفیس در فضای شبیه سازی مخزن با داده‌های آموزش وتست به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج با معیارهای خطا و معیارهای عملکرد کلاسیک و فازی و نیز نتایج تابع هدف مورد ارزیابی ومقایسه قرار می‌گیرد. در نهایت نیز روش‌های استنتاج فازی ممدانی، سوگنو و انفیس با بکارگیری FCM با یکدیگر مقایسه شده است. مطالعه موردی در حوضه آبریز رودخانه دز، ایران می‌باشد. در این حوضه سـد دز با هدف اولیه کشاورزی و هدف ثانویه برقابی بر روی رودخانه دز احداث شده است.

مواد و روش‌ها

روش‌های تولید قوانین فازی

در روش‌های فازی، داده‌ها به کلاسه هایی با مرزهای نامتعین تبدیل میگردند و مقادیر داده‌ها به صورت میزان عضویت در کلاسه ها(توابع عضویت) معرفی می‌گردد. تعاریف توابع عضویت ممکن است از روش‌های مختلفی مانند داده‌های آماری، خوشه بندی عصبی داده‌های تاریخی یا از ادغام پاسخ کارشناسان ناشی شود. لذا مبادله بین تعداد توابع عضویت و تعداد قوانین، به طوری که یک راه حل تقریبا بهینه با حداقل خطا و قابل قبول به دست می‌آید یکی از چالش‌های مهم استنتاج فازی می‌باشد(Hellendoorn & Thomas, 1993). الگوریتم‌های یادگیری متنوعی برای تولید خودکار مجموعه‌ها و قوانین فازی وجود دارد. این الگوریتم‌های یادگیری قوانین فازی را بر اساس بردارهای یادگیری تولید می‌کنند و رفتار ورودی وخروجی سیستم را آموزش دیده و استنتاج می‌کنند که در این مقاله سه روش پارتیشن بندی شبکه ای، خوشه بندی تفریقی، فازی-C Means برای تولید توابع عضویت و قوانین انفیس در بهره برداری از مخزن سد دز مورد بررسی قرار گرفته است.

معیارهای عملکرد فازی

در اکثر مطالعات منابع آب تأمین چنانچه درصد قابل توجهی از نیاز با کمبود ناچیز در یک دوره تامین گردد از نظر کارشناسان و ذینفعان بسیار مطلوب ارزیابی می‌شود. اما این مطلب در روابط قطعی (کلاسیک) مربوط به اطمینان پذیری وبرگشت پذیری به عنوان یک شکست یا کمبود در نظر گرفته می‌شود. این بدان دلیل است که هرگاه تأمین نیاز به طور کامل صورت بگیرد براساس روابط کلاسیک این رخداد به عنوان دوره بدون کمبود یا موفقیت درنظر گرفته می‌شود ولی هرگاه تأمین نیاز به طور کامل صورت نگیرد این رخداد به عنوان دوره دارای کمبود یا شکست در نظر گرفته می‌شود؛ چه کمبود بسیار ناچیز باشد و چه به اندازه کل نیاز. استفاده از سیستم دودویی یا منطق کلاسیک باعث عدم درنظر گرفتن عدم قطعیت و به عبارتی دیگر میزان رضایتمندی متناسب با مقدار کمبود در هر رخداد می‌شود. این مهم حکایت از آن دارد که روابط ارائه شده نمی‌توانند نتایج قابل اعتماد ومحسوسی را جهت تصمیم گیری به خصوص در مقادیر حدی از عملکرد سیستم نسبت به نیاز ارائه دهند. ال بارودی و سیمونویچ[5] با بهره‌گیری از دیدگاه فازی روابط معیاراطمینـــان پـــذیری

سیستم را توسعه دادند و نیز معیـــار جدیدی با عنوان معیار اطمینان پذیری-آسیب پذیری ترکیبـــی با دیدگاه فازی معرفی نمودند و به توسعه روابطی برای برگشت پذیری سیستم پرداختند(El- Baroudy & Simonovic, 2004).

صفوی و گل‌محمدی ضمن اینکه اشکالات اساسی در فرمولاسیون معیارهای عملکرد از دیدگاه منطق کلاسیک را بیان نمودند، روابط مربوط به آنها را با استفاده از مفهوم توابع عضویت در سیستم‌های فازی، اصلاح نموده اند تا خروجی این روابط با واقعیت محسوس عملکرد سیستم‌های منابع آب انطباق بیشتری داشته باشند(Safavi & Gol Mohammadi, 2016). آنها برای توسعه روابط مربوط به معیارهای عملکرد بر اساس تئوری فازی، در ابتدا یک تابع مطلوبیت باشکل تابع زنگوله‌ای تعریف نمودند. این تابع بیان کننده این مفهوم است که هرچه مقدار تأمین یا عرضه به نیاز نزدیکتر شود مطلوبیت و رضایتمندی از عملکرد سیستم بالاترخواهد رفت. براساس این تابع، مقدار مطلوبیت عملکرد سیستم مورد بررسی قرارمی‌گیرد. به طور مثال براساس تابع عضویت انتخاب شده، چنانچه حدودا ۷۵درصد نیاز تأمین گردد مطلوبیت به اندازه ۰/۹۰ خواهد بود و طبعاً عدم مطلوبیت یعنی متمم این مقدار برابر ۰/۱ خواهد بود. درصورتی که اگر طبق روابط کلاسیک عمل شود نتیجه این خواهد بود که تأمین این مقدار از نیاز به هیچ وجه مطلوب کاربر نبوده و عملکردسیستم با توجه به روابط معیارهای عملکرد صددرصد نامطلوب ارزیابی می‌شود. نتایج بیانگر آن است که روابط جدید ضمن ارائه مقادیر منطقی ومحسوس برای معیارهای عملکرد، مقادیر حدی سیستم را نیزتشخیص داده و متناسب با مطلوبیت عملکرد سیستم رفتار می‌کند.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دز بخشی از ارتفاعات زاگرس میانی کشور ایران است که جزء حوضه آبریز کارون بزرگ میباشد. سد دز یک سد بتنی دوقوسی برق‌آبی است که با حجم مخزن ۳۳۴۰ میلیون متر مکعب بر روی رودخانه دز احداث شد. این سد ۱۲۵۰۰۰هکتار از اراضی پایین دست را آبیاری می‌کند و نقش مهمی در کنترل سیلاب‌های بالادستش دارد. نیروگاه این سد دارای۱۴ واحد ژنراتور هریک به قدرت ۶۵ مگاوات و قدرت نصب نهایی ۹۱۰ مگاوات می‌باشد. در شکل۱ به صورت شماتیک حوضه آبریز دز نشان داده شده است.

چارچوب تحقیق

در شکل ۲ فلوچارت مراحل انجام این پژوهش آورده شده است. همانگونه که در فلوچارت مشاهده می‌گردد مراحل گام به گام زیر طی می‌گردد:

داده‌های ورودی به مخزن (دبی ماهیانه رودخانه)، نیازهای کشاورزی، شرب، صنعتی، برقابی و... به عنوان داده‌های اولیه به دو دسته داده‌های آموزش وتست تقسیم بندی می‌گردد.

مساله بهینه سازی با هدف حداقل سازی مجموع کمبود از نیازهای پایین دست و قیود متداول مسائل بهره برداری از مخازن مدلسازی می‌گردد.

از داده‌های قطعی آموزش در حل مساله بهینه سازی مربوطه استفاده می‌نماییم و با استفاده از الگوریتم Ant System Max-Min با استفاده از فرآیند تظریف تطبیقی احتمالاتی (SAR) مساله مربوطه را که غیر خطی و غیر محدب می‌باشد، حل می‌نماییم.

سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی(ANFIS) مدلسازی می‌گردد. ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم انفیس از داده‌های آماری و نتایج حل مساله بهینه سازی بدست می‌آید. ورودی‌های سیستم انفیس شامل سه متغیر ورودی به مخزن ونیاز ماهیانه وذخیره مخزن می‌باشد و خروجی سیستم متغیر رها سازی از مخزن می‌باشد. رها سازی از مخزن و ذخیره مخزن از نتایج بهینه سازی فوق بدست آمده است و ورودی به مخزن و نیازهای ماهیانه جزو داده‌های اولیه مساله می‌باشند.

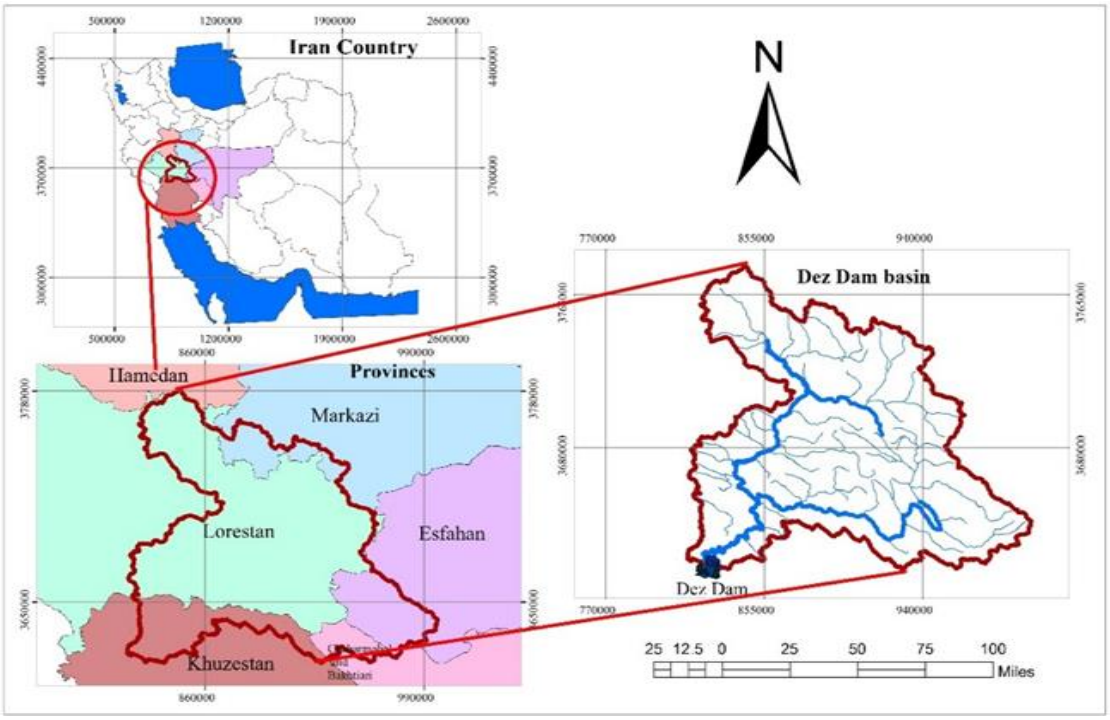
ابتدا با روش پارتیشن بندی شبکه ای، توابع عضویت وقوانین درانفیس تولید شده و رابطه بین ورودیها وخروجی‌های سیستم را استنتاج می‌گردد. بدین ترتیب چنانچه ذخیره مخزن، نیاز و ورودی در هر ماه را داشته باشیم، میتوانیم خروجی بهینه را بر اساس قواعد انفیس که توابع عضویت و قوانین آن بر اساس پارتیشن بندی شبکه ای، بدست آمده است، برآورد نماییم.

سیستم شبیه سازی از مخزن اجرا می‌شود. با استفاده از قواعد انفیس (که توابع عضویت آن در پارتیشن بندی شبکه ای، تولید شده است.) و با داده‌های ذخیره مخزن، نیاز و ورودی، در هر ماه، خروجیهای بهینه در هر ماه بدست می‌آید و در شبیه سازی مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

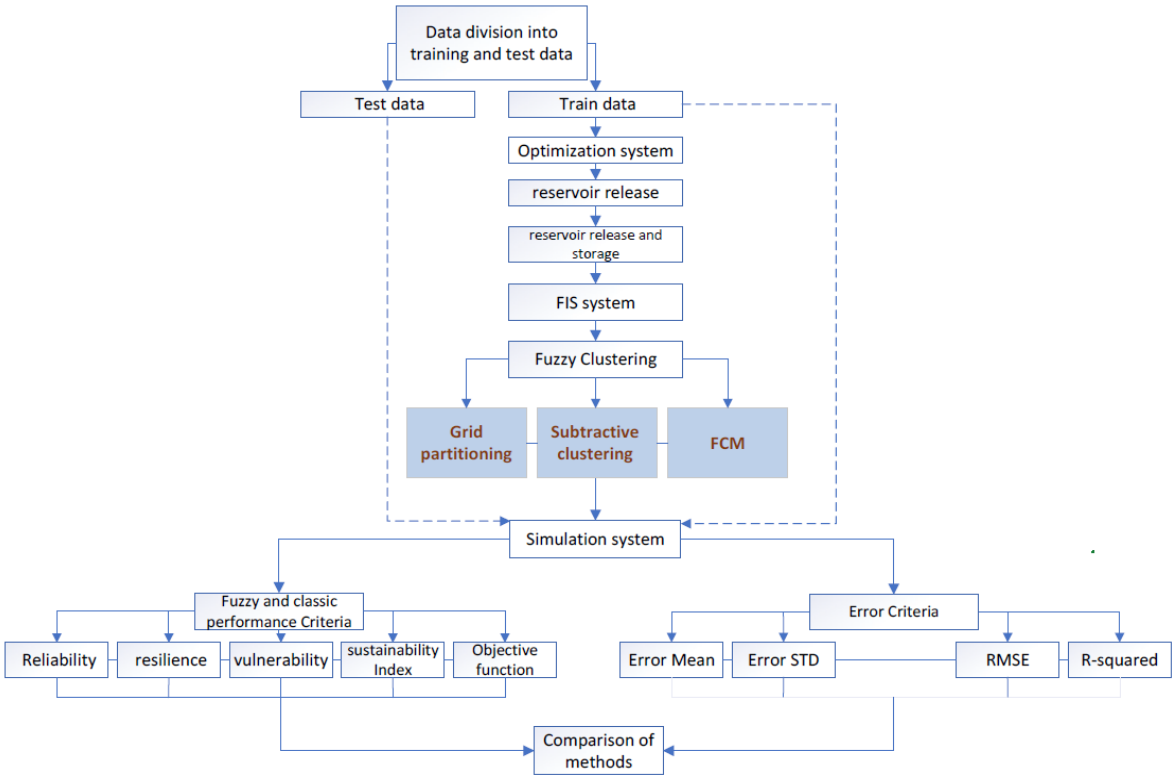
گامهای ۵ و۶ برای روش‌های خوشه بندی تفریقی، فازی-C Means به طور جداگانه انجام می‌گردد. یعنی قواعد انفیس جداگانه با روش‌های خوشه بندی تفریقی، فازیC-Means تولید شده وسپس در شبیه سازی مخزن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج سه روش با معیارهای عملکرد فازی وکلاسیک، توابع هدف وشاخص‌های خطا مورد سنجش قرار می‌گردد.

در نهایت بهترین روش تولید توابع عضویت و قوانین فازی که FCM می‌باشد، در مقایسه روش‌های استنتاج فازی ممدانی، سوگنو و انفیس به کار گرفته می‌شود.



شکل۱. نمایش شماتیک حوضه آبریز دز



شکل۲. فلوچارت مقایسه روش‌های ایجاد قوانین انفیس در بهره برداری مخزن سد

تعریف مساله، فرمول بندی تابع هدف و محدودیت ها

در این پژوهش، مسئله بهره برداری از مخزن سد دز به عنوان یک مساله واقعی مورد بررسی قرار گرفته است. در سد دز، حجم آب رها شده از مخزن صرفنظر از میزان انرژی تولیدی، براساس سایر نیازهای موجود پایین دست بوده و میزان تولید انرژی براساس حجم آب رها شده و هد موجود برروی توربینها محاسبه می‌گردد. تابع هدف با هدف حداقل سازی میزان مجموع کمبود رها سازی از مخزن نسبت به یک نیاز مشخص در پایین دست تعریف شده است:

$$minimize\ O.F. = \sum_{n=1}^{N_2}\sum_{t=1}^{T} W_2\left[(d_{n,t} - r_{n,t})\right]^2 \qquad (1)$$

- که درآن $d_{n,t}$مقدار نیاز پایین دست، $r_{n,t}$ مقدار رها سازی انتخاب شده مخزنn در دوره زمانیt وw_i ضرایب وزنی جهت نرمال سازی میباشد. درمسائل بهینه سازی اعمال قیود به عنوان ارکان اصلی حل مساله به حساب می‌آیند.
- قیود مساله بهره برداری ساده به صورت رابطه پیوستگی، حداکثر و حداقل رهاسازی ازمخزن و حجم مخزن تعریف می‌گردند.

نتایج و بحث

ابتدا مسئله بهره برداری از مخزن سد دز با تابع هدف حداقل سازی میزان کمبود رها سازی از مخزن نسبت به یک نیاز مشخص تعریف شده است. ۱۵ سال از داده‌ها به عنوان داده‌های آموزش و ۱۵ سال بعدی داده‌ای تست میباشند. جمع ورودی‌های ۳۰ سال برابر ۲۱۶۴۲۵ میلیون مترمکعب وجمع نیاز ها۲۴۴۹۵۰ میلیون مترمکعب میباشد که مجموع نیازها در طی این مدت۱،۱۳ برابر ورودی‌ها میباشد ونیز با توجه به اینکه نیازدر ماه‌هایی که ورودی به مخزن کمتر می‌باشد، زیادتر هستند، در می‌یابیم توزیع ورودی به مخزن نسبت به نیاز متفاوت بسیارمی باشد که توزیع متناسب خروجی از مخزن متناسب با نیازها به حل مساله بهینه سازی را لازم می‌سازد.

در جداول ۱و۲ معیارهای عملکرد فازی وکلاسیک وتوابع هدف برای داده‌های آموزش و تست آورده شده است. مقایسه معیارهای عملکرد کلاسیک وفازی را میتوان اینگونه تحلیل نمود که:

- با توجه به اینکه در روش کلاسیک به ازای هر میزان کمبود نسبت به نیاز، حتی در مقادیر ناچیز، شکست تعریف می‌گردد، لذا تعداد دوره هایی که تامین نیاز انجام شده است، بسیار کاهش می‌یابد ومتعاقبا معیار Reliability نیز کاسته می‌گردد.
- در معیارهای عملکرد کلاسیک بزرگترین کمبود نسبت به نیاز در Vulnerability مدنظر قرار می‌گیرد. بنابراین اگرحتی یک دوره هم نیاز به تمامی تامین نگردد Vulnerability برابر یک خواهد بود!

در معیارهای عملکرد کاسیک حتما باید در دوره زمانی بعد از شکست نیاز به طور کامل تامین گردد تا برگشت به حالت مطلوب در نظر گرفته شود و در این مساله چون میانگین نیازها نسبت به ورودی به مخزن خیلی بیشتر بوده است، در اکثر هیچ دوره‌ها نیاز به طور کامل تامین نشده است(شکل۴). لذا مقدار پارامتر Resilience کلاسیک بسیار کوچک شده است. در حالی که در معیار عملکرد فازی به هر اندازه‌ای که شرایط بعد از هرشکست بهبود یابد، در Resilience لحاظ می‌گردد ونتایج آن واقعی تر ومناسب تر برای تحلیل متخصصان خواهد بود.

با توجه اینکه پارامترSustainability Index از ترکیب سه پارامتر استخراج می‌گردد و اگر هر کدام از این سه پارامتر غیر واقعی باشد تاثیر بالایی در Sustainability Index خواهد داشت واین امر در نتایج جداول ۱و۲کاملا مشهود است.

لذا معیارهای عملکرد فازی بسیار بهتر و واقعی تر از معیارهای عملکرد کلاسیک عمل می‌نماید و نتایج واقعیتری جهت تصمیم گیری در اختیار متخصصان قرار میدهد.با نظر به جداول ۱و۲ مقایسه روش‌های پارتیشن بندی شبکه ای، خوشه بندی تفریقی وFCM بیانگرآن است‌که:

- توابع هدف درداده‌های آموزش حالت بهره برداری بهینه ۰،۱۶ در پارتیشن بندی شبکه‌ای ۲،۲۱ در خوشه بندی تفریقی ۰،۳۸ ودر FCM ۰،۳۵ می‌باشد ودر داه‌های تست به حالت بهره برداری بهینه ۰،۲۳و۰،۶۶ در پارتیشن بندی شبکه‌ای جوابها ناشدنی بوده اند و در خوشه بندی تفریقی ۰،۵۹ و در FCM برابر ۰،۵۴ بدست آمده است. بنابراین توابع هدف در حالت تقسیم بندی FCM نسبت به خوشه بندی تفریقی در داده‌های آموزش ۱۴درصد و در داده‌های تست ۱۶درصد بهبود یافته است.
- توابع هدف در حالت پارتیشن بندی شبکه‌ای در حالت آموزش ۲،۲۱ ودر داده‌های تست جوابهای ناشدنی بدست آمده است و دلیل این موضوع ان است که در پارتیشن بندی شبکه‌ای به دلیل آنکه از مکانیزم مناسبی جهت استنتاج توابع عضویت وقوانین استفاده نمی‌گردد و به علت تعداد بالای قوانین که در این مساله ۲۷ قانون می‌باشد(در مقایسه با ۳ قانون در روش‌های رقیب)، رفتار سیستم به خوبی استنتاج نشده است. به گونه‌ای که در داده‌های تست جوابهای نشدنی بدست آمده است. لذا این روش از مقایسه با دوروش خوشه بندی تفریقی و FCM حذف می‌گردد.
- معیارهای عملکرد نشاندهنده آن است که در جوابهای بهینه و FCM و خوشه بندی تفریقی، شاخص پایداری در داده‌های آموزش نزدیک به یکدیگر میباشد ودر داده‌های

تست FCM و خوشه بندی تفریقی، با شاخص پایداری ۰،۴ و۰،۴۲ به نتایج بهتری نسبت به روش بهینه با شاخص پایداری ۰،۳۳ دست یافته اند.

- در جدول ۳ معیارهای خطا در داده‌های داده‌های آموزش و تست آورده شده است. در روش پارتیشن بندی شبکه ای، تعداد قوانین فازی برابر با ۲۷ (M^n) است، که در آن n=3 بعد ورودی و M=3 تعداد زیر مجموعه‌های فازی تقسیم‌بندی شده برای هر متغیر ورودی است. با افزایش تعداد مجموعه‌های فازی، ابعاد مسئله و زمان محاسبات به صورت ضربی افزایش می‌یابد. لذا، این رویکرد از مشکلات ابعادی رنج می‌برد. این روش مقدار کم RMSE برابر 32.072را با میانگین خطا برابر 0.007-برای داده‌های آموزش ارائه می‌دهد. مقادیر R-squared 0.988 ارائه شده وانحراف معیار ۳۲،۱۶۰ عملکرد بالای این روش برای داده‌های آموزش به دلیل تعداد بالای قوانین را نشان می‌دهد. اما نتایج در جدول ۳ در داده‌های تست نشان داده است که این روش عملکرد مناسبی برای داده‌های تست ندارد وجوابهای بدست آمده ناشدنی میباشد وقیود مساله رعایت نشده است. در پارتیشن بندی شبکه به دلیل اینکه تعداد قوانین متعدد است (27 قانون)، رفتار سیستم پیچیده تر از خوشه بندی تفریقی و C-Means فازی است که با 3 قانون مدل سازی شده است و لذا نمی توان آن را برای بهره برداری مخزن انتخاب کرد.
- در خوشه‌بندی تفریقی انتخاب شعاع خوشه‌ها تاثیر بالایی در تعداد توابع عضویت دارد. تعداد کم خوشه‌ها منجر به پارتیشن بندی نامناسب ورودی‌ها می‌شود. از طرف دیگر، تعداد زیاد خوشه زمان محاسبه را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد و می‌تواند بر خوب بودن پیش بینی تأثیر بگذارد. لذا باید شعا ع‌های مختلف خوشه‌ها را در محدوده ۰،۲ تا ۱ با روش سعی و خطا مورد بررسی قرار داد تا مناسب ترین شعاع که منجر به بهترین جوابها می‌شود را انتخاب نمود. در این مساله شعاع بهینه ۰،۸ انتخاب شده است که منجر به تولید سه تابع عضویت برای هر متغیر و سه قانون در انفیس شده است.در روش FCM نیز تعداد توابع عضویت وقوانین ۳ انتخاب شده است.

بالا بودن R-squared وکم بودن میانگین خطاها در داده‌های آموزش وتست در روش‌های خوشه بندی تفریقی و FCM بیانگر کارآیی این دوروش در پیش بینی رفتار سیستم می‌باشد.

جدول۱. معیارهای عملکرد فازی وکلاسیک وتوابع هدف برای داده های آموزش در سه روش تقسیم بندی

Training Data

Operation Method	Performance Criteria	Reliability	Vulnerability	Resilience	Sustainability Index	Obj.Function
Optimum	Classic	0.12	1.00	0.03	0.00	
	Fuzzy	0.70	0.79	0.62	0.45	0.16
Grid partitioning	Classic	0.18	1.00	0.12	0.00	
	Fuzzy	0.61	0.95	0.66	0.27	2.21
Subtractive clustering	Classic	0.14	1.00	0.07	0.00	
	Fuzzy	0.69	0.80	0.63	0.45	0.38
FCM	Classic	0.15	1	0.071	0.00	
	Fuzzy	0.71	0.79	0.64	**0.46**	**0.35**

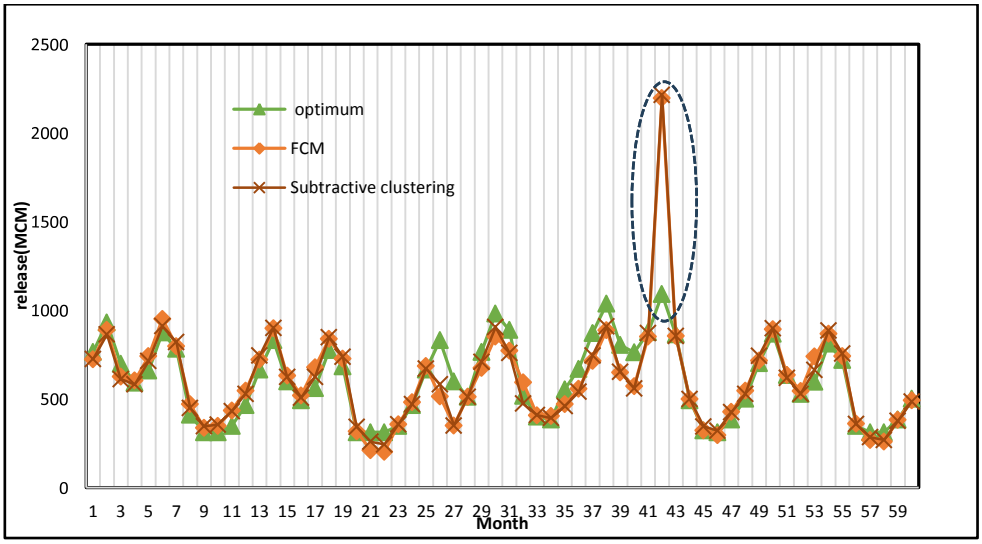
جدول۲. معیارهای عملکرد فازی وکلاسیک وتوابع هدف برای داده‌های تست در سه روش تقسیم بندی

Test Data

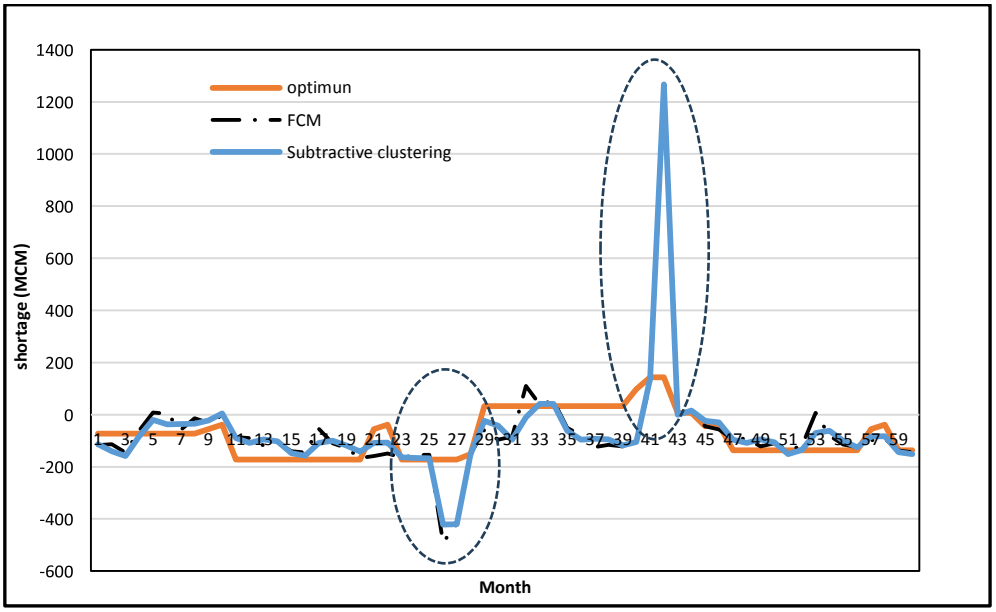
Operation Method	Performance Criteria	Reliability	Vulnerability	Resilience	Sustainability Index	Obj.Function
Optimum	Classic	0.17	1.00	0.03	0.00	
	Fuzzy	0.65	0.90	0.55	0.33	0.23
Grid partitioning	Classic	inf	inf	inf	inf	
	Fuzzy	inf	inf	inf	inf	inf
Subtractive clustering	Classic	0.12	1.00	0.07	0.00	
	Fuzzy	0.67	0.82	0.58	**0.42**	0.59
FCM	Classic	0.1278	1	0.0828	0.00	
	Fuzzy	0.67	0.86	0.65	0.40	**0.54**

جدول۳. معیارهای خطا در داده‌های آموزش و تست

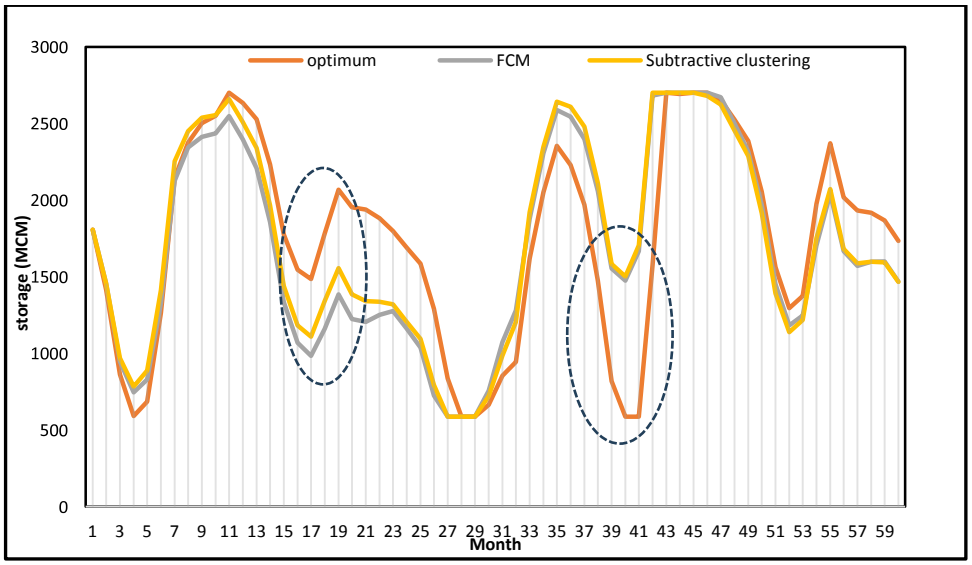
		Type of clustering		
		FCM	Subtractive	Grid partitioning
TRAIN DATA	Error Mean	-0.001	-0.001	-0.007
	Error STD	69.459	67.380	32.160
	RMSE	69.266	67.190	32.072
	R-squared	0.945	0.948	0.988
TEST DATA	Error Mean	-5.763	-9.411	inf
	Error STD	96.087	90.887	inf
	RMSE	95.993	91.121	inf
	R-squared	0.905	0.916	inf



شکل۳. خروجی روش‌های مختلف بهره برداری



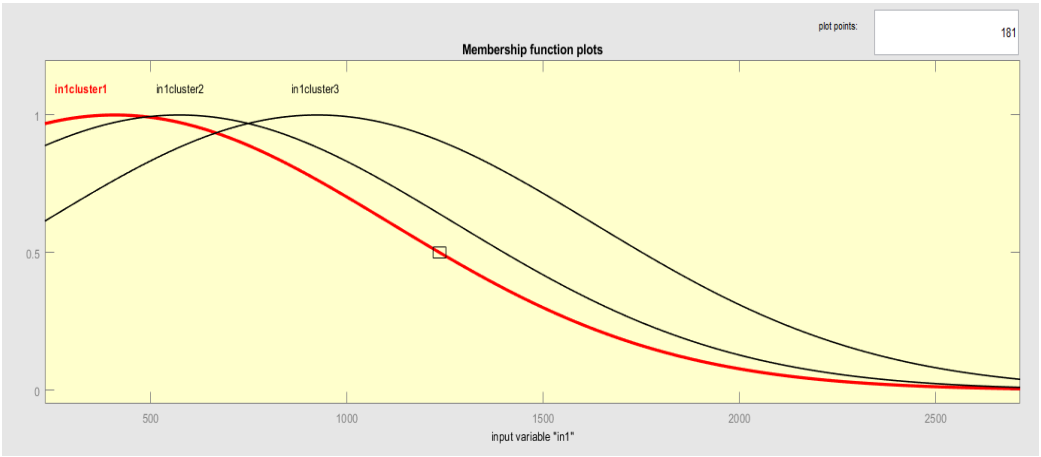
شکل۴. کمبود از نیاز درروش‌های مختلف بهره برداری



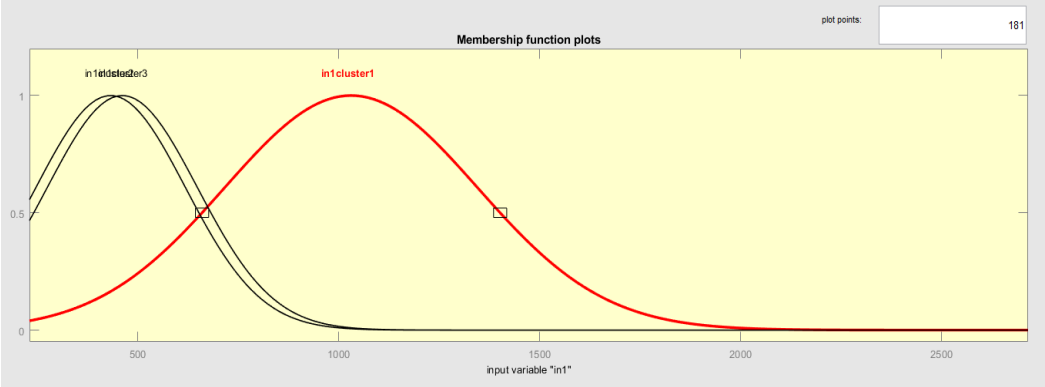
شکل۵. ذخیره مخزن درروش‌های مختلف بهره برداری

شکلهای ۴،۳و۵ خروجی، کمبود از نیاز، ذخیره در داده‌های تست نشان داده شده است. در ماه‌هایی که اختلاف روش‌های مورد بررسی از روش بهینه زیاد می‌باشد با خط چین بیضی نشان داده شده است. مقادیر بدست آمده در روش پارتیشن بندی شبکه‌ای به دلیل اینکه ناشدنی می‌باشد در شکل‌ها نشان داده نشده است. از شکل ۳ در می‌یابیم در بیشتر ماه‌ها خروجی از مخزن در FCM و خوشه بندی تفریقی نزدیک به خروجی بهینه می‌باشد. در شکل ۴ کمبود روش‌های مختلف بهره‌برداری را نشان داده شده است. با توجه به اینکه تابع هدف در بهینه سازی (معادله ۱) حداقل سازی مجموع کمبود خروجی نسبت به نیازها می‌باشد، کمبود از نیاز در حالت بهینه هموارتر می‌باشد. میزان کمبود FCM و خوشه‌بندی تفریقی نیز دربیشتر ماه‌ها به بهینه نزدیک می‌باشد. در شکل ۵ ذخیره روش‌های مختلف بهره برداری را نشان داده شده است که تابعی از ورودی و خروجی از مخزن می‌باشد. نتایج و نزدیکی ذخیره مخزن در روش‌های مربوطه به ذخیره بهینه را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

۶-الف. توابع عضویت جریان ورودی در پارتیشن بندی شبکه ای



۶-ب. توابع عضویت جریان ورودی در خوشه بندی تفریقی



۶-ج. توابع عضویت جریان ورودی در FCM

شکل ۶.توابع عضویت جریان ورودی با سه روش پیشنهادی: الف) پارتیشن بندی شبکه‌ای ب) خوشه بندی تفریقی ج) FCM

در شکل ۶ توابع عضویت جریان ورودی با سه روش پیشنهادی نشان داده شده است. به ازای هر متغیرسه تابع عضویت درنظر گرفته شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، در روش پارتیشن بندی شبکه توزیع توابع عضویت یکنواخت است و منجر به ایجاد توابع عضویت در فضاهایی می‌شود که داده‌های کمی وجود دارد و از دقت روش می‌کاهد. در حالی که در روش‌های خوشه بندی تفریقی و FCM ایجاد توابع عضویت هوشمندتر است. در این روش ها، تراکم توابع و قوانین عضویت در فضاهایی که داده‌های بیشتری وجود دارد بیشتر است. تراکم توابع عضویت ورودی به مخزن در بین داده‌های mcm۲۵۰ و mcm۱۲۵۰ می‌باشد و این موضوع بیانگر آن است که ورودی به مخزن در بیشتر ماه‌ها در این محدوده می‌باشد. در روش خوشه بندی تفریقی، انحراف معیار توابع عضویت بیشتر از روش FCM است و توابع عضویت در روش خوشه بندی تفریقی توزیع یکنواخت تری دارند.

بررسی و مقایسه سیستم‌های استنتاج فازی ممدانی،سوگنو و انفیس در بهره برداری مخزن دز:

مدل سازی سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه روش‌های ممدانی[۶](Mamdani & Assilian, 1975) وسوگنو[۷] (Takagi & Sugeno, 1985) ایجاد می‌گردد. تفاوت اصلی این دوروش در این است که در ممدانی خروجی‌های سیستم به صورت توابع عضویت می‌باشد ولی در سوگنوخروجی ترکیبی خطی از ورودها می‌باشد. در انفیس نیز که بر پایه سوگنو می باشد، با بهره‌گیری از شبکه عصبی ضرایب روابط خطی خروجی سیستم بهینه می‌گردد. در این بخش بهره برداری مخزن سد با بهره‌گیری از تقسیم بندی FCM در سه سیستم استنتاج فازی ممدانی،سوگنو و انفیس انجام شده است و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. در جداول ۴و۵ معیارهای عملکرد فازی وکلاسیک وتوابع هدف برای داده‌های آموزش و تست در روش بهره برداری بهینه و سه سیستم استنتاج فازی ممدانی،سوگنو و انفیس آورده شده است. با نظر به جداول ۴و۵ و مقایسه روش‌های استنتاج فازی ممدانی،سوگنو و انفیس بیانگرآن است که:

توابع هدف دردادههای آموزش در حالت بهره برداری بهینه ۰/۱۶ در استنتاج فازی ممدانی ۰/۸۶ در سوگنو ۰/۳۹ و در انفیس ۰/۳۵ می‌باشد و در داده‌های تست در حالت بهره برداری بهینه ۰/۲۳ در استنتاج فازی ممدانی ۰/۹۸ در سوگنو ۰/۵۸ و در انفیس ۰/۵۴ بدست آمده است. بنابراین توابع هدف در حالت استنتاج فازی سوگنو نسبت به ممدانی در داده‌های آموزش ۶۷درصد و در داده‌های تست ۵۳ درصد بهبود یافته است. توابع هدف در انفیس نسبت به سوگنو در داده‌های آموزش ۱۷ درصد و در داده‌های تست ۱۳ درصد بهبود یافته است.

معیارهای عملکرد نشاندهنده آن است که در جوابهای بهینه و سوگنو و انفیس، شاخص پایداری در داده‌های آموزش نزدیک به یکدیگر میباشد. ولی در ممدانی در داده‌های آموزش وتست شاخص پایداری فازی مناسب تری بدست آمده است.

جدول۴. معیارهای عملکرد فازی وکلاسیک وتوابع هدف برای داده‌های آموزش درروش‌های بهینه، ممدانی و سوگنو وانفیس

		Training Data				
Operation Method	**Performance Criteria**	**Reliability**	**Vulnerability**	**Resilience**	**Sustainability Index**	**Obj.Function**
Optimum	Classic	0.12	1.00	0.03	0.00	
	Fuzzy	0.70	0.79	0.62	0.45	0.16
Mamdani FIS	Classic	0.37	1.00	0.18	0.00	
	Fuzzy	0.73	0.76	0.74	0.51	0.86
Sugeno FIS	Classic	0.14	1.00	0.08	0.00	
	Fuzzy	0.72	0.78	0.60	0.46	0.39
ANFIS	Classic	0.15	1	0.071	0.00	
	Fuzzy	0.71	0.79	0.64	0.46	0.35

جدول۵. معیارهای عملکرد فازی وکلاسیک وتوابع هدف برای داده‌های تست درروش‌های بهینه، ممدانی و سوگنو وانفیس

		Test Data				
Operation Method	**Performance Criteria**	**Reliability**	**Vulnerability**	**Resilience**	**Sustainability Index**	**Obj.Function**
Optimum	Classic	0.17	1.00	0.03	0.00	
	Fuzzy	0.65	0.90	0.55	0.33	0.23
Mamdani FIS	Classic	0.34	1.00	0.16	0.00	
	Fuzzy	0.70	0.80	0.66	0.45	0.98
Sugeno FIS	Classic	0.12	1.00	0.07		
	Fuzzy	0.68	0.86	0.54	0.37	0.58
ANFIS	Classic	0.1278	1	0.0828	0.00	
	Fuzzy	0.67	0.86	0.65	0.40	0.54

جدول۶. معیارهای خطا برای داده‌های تست در دو روش استنتاج فازی و انفیس

		ANFIS	FCM clustering Sugeno FIS	Mamdani FIS
TRAIN DATA	Error Mean	-0.001	0.000	-24.794
	Error STD	69.459	74.273	181.225
	RMSE	69.266	74.066	182.414
	R-squared	0.945	0.937	0.588
TEST DATA	Error Mean	-5.763	-5.330	-32.402
	Error STD	96.087	97.303	192.682
	RMSE	95.993	97.178	194.859
	R-squared	0.905	0.902	0.606

در جدول ۶ معیارهای خطا در داده‌های داده‌های آموزش و تست آورده شده است. R-squared پایین و بالا بودن سایر معیارهای خطا در ممدانی نسبت به سوگنو وانفیس نشان دهنده آن است که ممدانی نتایج ضعیف تری نسبت به سوگنو وانفیس داشته است. از طرفی بالا بودن R-squared در انفیس و سوگنوکم بودن میانگین خطاها در داده‌های آموزش وتست بیانگر کارآیی این دو روش در پیش بینی رفتار سیستم می‌باشد. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت سوگنو کارآمدتر از ممدانی می‌باشد و انفیس نیز توابع هدف و معیارهای عملکرد را درسوگنو بهبود بخشیده است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله مساله بهره برداری از مخزن سد دز با روشANFIS بررسی شده است. داده‌های موجود جریان ورودی به مخزن و تقاضای ماهانه است. رهاسازی از مخزن سد و ذخیره ماهانه از مسئله بهینه سازی با هدف به حداقل رساندن کمبود کل تقاضا استخراج می‌شود. مسئله بهینه سازی با الگوریتم کلونی مورچه‌ها با استفاده از مکانیزم کارآمدی به نام تظریف تطبیقی احتمالاتی حل شد. سپس در فرآیند فازی، مجموعه داده‌های مساله به سیستم‌های فازی تبدیل شد. روش‌های مختلفی برای طراحی سیستم فازی وجود دارد. در این مقاله سه روش پارتیشن بندی شبکه، خوشه بندی تفریقی و FCM جهت طراحی سیستم‌های فازی بر اساس داده‌های ورودی و خروجی ارائه شده است. عملکرد روش پارتیشن بندی شبکه‌ای به شدت به اندازه ورودی‌ها و شبکه بستگی دارد. در این روش با افزایش توابع عضویت تعداد قوانین و ابعاد مسئله به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد که منجر به پیچیدگی و ناکارآمدی سیستم فازی می‌شود. در روش خوشه بندی تفریقی و FCM، فرآیند تولید توابع عضویت و قوانین فازی هوشمندانه‌تر می‌باشد و تعداد قوانین ایجاد شده بسیار کمتر از روش پارتیشن‌بندی شبکه‌ای بوده و کاربردی تر است. از این رو، جهت بهره برداری از مخازن سدها کارآمد می‌باشند. روش FCM در دستیابی به توابع هدف بهینه نتایج نسبتا بهتری نسبت به روش خوشه بندی تفریقی داشته است.

درمقایسه و سنجش کارآیی روش‌های بهره‌برداری از مخازن، از فازی سازی شاخص‌های عملکرد مخزن شامل اعتمادپذیری، آسیب پـذیری، برگشت پذیری و پایداری استفاده شد. نتایج نشان داده است که معیارهای عملکرد کلاسیک به دلیل داشتن مرزهای تقسیم بندی ترد(crisp) منجر ارائه شاخص‌های غیر مناسب می‌شوند. ولی فازی سازی شاخص‌های عملکرد، معیارهای واقعی تری را در اختیار متخصصان جهت تصمیم گیری قرار می‌دهد.

در نهایت بهره برداری مخزن سد با بهره‌گیری از تقسیم بندی FCM در سه سیستم استنتاج فازی ممدانی،سوگنو و انفیس انجام گردید و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. درسوگنو نتایج بهتری از ممدانی بدست آمده است و انفیس نیز نقش موثری در بهبود تابع هدف و معیارهای عملکردفازی درسوگنو داشته است.

Reference:

Anto Soentoro, E., & Pebriana, N. (2019). Fuzzy rule-based model to optimize outflow in single reservoir operation. MATEC Web of Conferences, 270, 04015. https://doi.org/10.1051/matecconf/201927004015

Afshar,M.H., Rezai, S.E., & Moeini, R. (2010). An Optimized Reservoir Operation with Stochastic Adaptive Refinement in Ant Algorithms. Iran-Water Resources Research, 6(1), 12–14. [In Persian]

Bae, D.-H., Jeong, D. M., & Kim, G. (2007). Monthly dam inflow forecasts using weather forecasting information and neuro-fuzzy technique. Hydrological Sciences Journal, 52(1), 99–113.

Deka, P. C., & Chandramouli, V. (2009). Fuzzy Neural Network Modeling of Reservoir Operation. February, 5–12.

El- Baroudy, I., & Simonovic, S. P. (2004). Fuzzy criteria for the evaluation of water resource systems performance. Water Resources Research, 40(10).

Fattahi, H. (2016). Indirect estimation of deformation modulus of an in situ rock mass: an ANFIS model based on grid partitioning, fuzzy c-means clustering and subtractive clustering. Geosciences Journal, 20(5), 681–690.

Goguen, J. A. (1973). LA Zadeh. Fuzzy sets. Information and control, vol. 8 (1965), pp. 338–353.-LA Zadeh. Similarity relations and fuzzy orderings. Information sciences, vol. 3 (1971), pp. 177–200. The Journal of Symbolic Logic, 38(4), 656–657.

Haryati, A. E., Sugiyarto, S., & Putri, R. D. A. (2021). COMPARISON OF FUZZY SUBTRACTIVE CLUSTERING AND FUZZYC-MEANS. Jurnal Ilmiah Kursor, 11(1).

Hellendoorn, H., & Thomas, C. (1993). Defuzzification in fuzzy controllers. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 1(2), 109–123.

Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 23(3), 665–685. https://doi.org/10.1109/21.256541

Loucks, D. P., Stedinger, J. R., & Haith, D. A. (1981). Water resource systems planning and analysis. Prentice-Hall.

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1–13.

Mohammed, M., Sharafati, A., Al-Ansari, N., & Yaseen, Z. M. (2020). Shallow Foundation Settlement Quantification: Application of Hybridized Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Model. Advances in Civil Engineering, 2020. https://doi.org/10.1155/2020/7381617

Palconit, M. G. B., Conception II, R. S., Alejandrino, J. D., Nuñez, W. A., Bandala, A. A., & Dadios, E. P. (2021). Comparative ANFIS Models for Stochastic On-road Vehicle CO 2 Emission using Grid Partitioning, Subtractive, and Fuzzy C-means Clustering. 2021 IEEE 9th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 1–6.

Pramanik, N., & Panda, R. K. (2009). Application of neural network and adaptive neuro-fuzzy inference systems for river flow prediction. Hydrological Sciences Journal, 54(2), 247–260.

Safavi, H. R., Chakraei, I., Kabiri-Samani, A., & Golmohammadi, M. H. (2013). Optimal Reservoir Operation Based on Conjunctive Use of Surface Water and Groundwater Using Neuro-Fuzzy Systems. Water Resources Management, 27(12), 4259–4275. https://doi.org/10.1007/s11269-013-0405-1

Safavi, H. R., & Gol Mohammadi, M. H. (2016). Evaluating the water resource systems performance using fuzzy reliability, resilience and vulnerability. Iran-Water Resources Research, 12(1), 68–83.

Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1, 116–132.

Tarazkar, M. H., Soltani, G. R., & Nooshadi, M. (2018). Determining the Operating Rules Of Doroodzan Reservoir Using the Adaptive Network Fuzzy Inference System (ANFIS). JWSS-Isfahan University of Technology, 22(2), 261–276.

Tomas, K., & Milos, S. (2021). Adaptive Management of the Storage Function for a Large Reservoir Using Learned Fuzzy Models. Water Resources, 48(4), 532–543.

Yeom, C.-U., & Kwak, K.-C. (2018). Performance comparison of ANFIS models by input space partitioning methods. Symmetry, 10(12), 700.

یادداشت‌ها

[1] *Jang*
[2] *Bae*
[3] *Pramanik & Panda*
[4] *Yeom*
[5] *El- Baroudy & Simonovic*
[6] *Mamdani*
[7] *Sugeno*